





ORTA DOĐU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

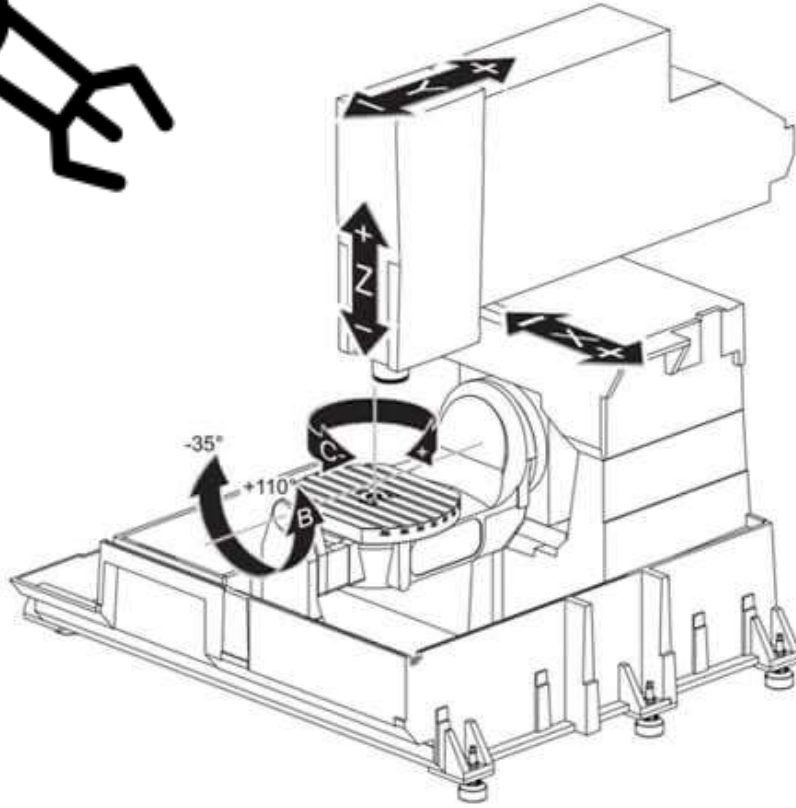
# Çok Eksenli Eklemeli İmalat

**DOÇ. DR. ULAŞ YAMAN**

Orta Dođu Teknik Üniversitesi  
Makina Mühendisliđi Bölümü  
uyaman@metu.edu.tr

12 Ekim 2021

# Çok Eksenli Eklemeli İmalat



# Akiş

- Eklemeli İmalat
- Eklemeli ve Talaşlı İmalat
- Eklemeli İmalat Yöntemleri
- Çok Eksenli Sistemlerin Avantajları
- Çok Eksenli Sistemler İçin Yazılım ve Algoritmalar
- Beklenen Gelişmeler

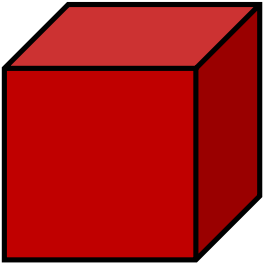


# Eklemeli İmalat

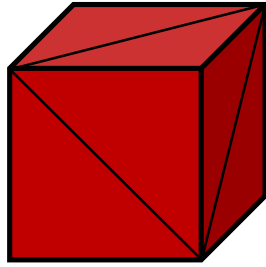
- Hızlı Prototipleme/Örnekleme
- 3B Yazdırma
- 3B Yazıcılar
- 3B Baskı
- Katmanlı Üretim/İmalat
- Eklemeli Üretim/İmalat



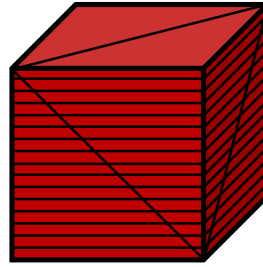
# Süreç Zinciri



CAD  
Yazılımlarında  
Tasarım



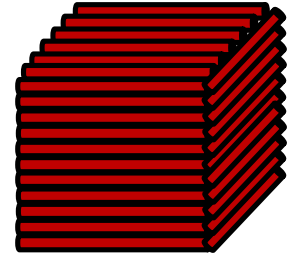
Tasarımın STL  
Formatına  
Dönüştürülmesi



CAM  
Yazılımında  
Dilimleme

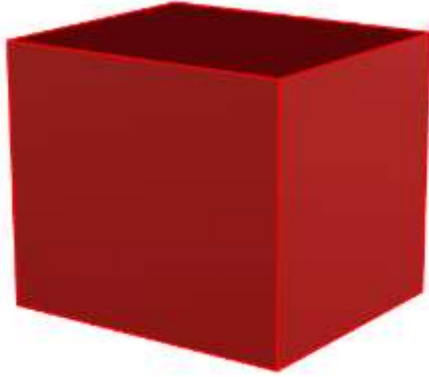
```
M107  
G10  
M106 S255  
G1 F2400 X37.500 Y60.000 E71.982  
G1 F2400 X60.000 Y37.500 E75.800  
G1 F2400 X82.500 Y60.000 E79.618  
G1 F2400 X82.000 Y60.000 E79.678  
G1 F2400 X60.000 Y82.000 E83.412  
G1 F2400 X38.000 Y60.000 E87.145  
G1 F2400 X60.000 Y38.000 E90.879  
G1 F2400 X82.000 Y60.000 E94.613  
G1 F2400 X81.500 Y60.000 E94.673
```

Üretim  
Dosyasının  
İletilmesi



3B  
Yazıcıda  
Üretim

# Eklemeli ve Talaşlı İmalat



Talaşlı



Eklemeli

# Ekllemeli ve Talaşlı İmalat

- Üretim hızı
- Tasarım ve üretim süreci
- Geometrik karışıklık
- Boyutsal doğruluk
- Programlama zorluğu
- Malzeme çeşitliliği
- Maliyet



<https://d2py9w124w2td.cloudfront.net/src/media/image/products/um3/solve/gyro.jpg>



# Eklemele ve Talaşlı İmalat

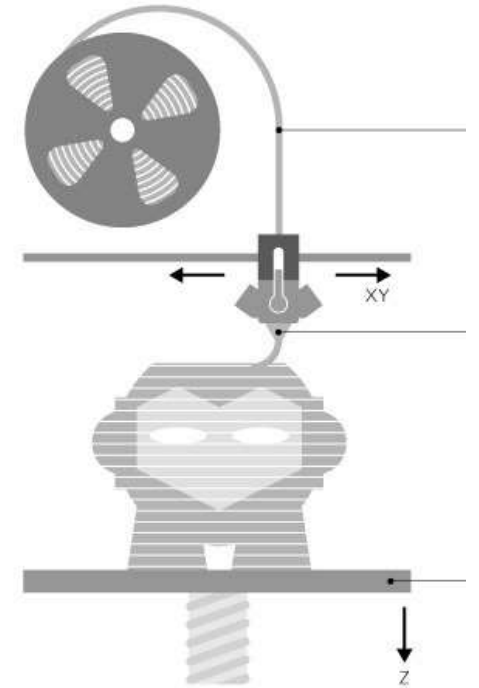
- İşlevsel parçalar
- Özel fikstürler
- Atık malzeme
- Malzeme tedarik zinciri
- Eniyilenmiş geometriler
- Ekonomik model



<https://d2py9w124w2td.cloudfront.net/src/media/image/products/um3/solve/gyro.jpg>

# Eriyik Filament ile İmalat (FFF)

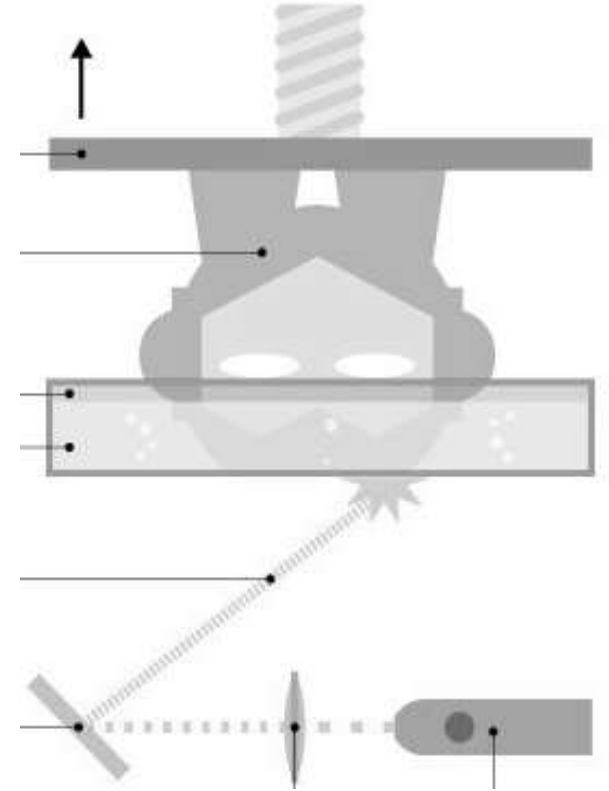
- Eriyik Yığıma Modelleme (FDM)
- Ekstrüzyon
- Lüle kafası
- Destek yapıları
- En çok kullanılan
- En ucuz
- PLA, ABS, PETT, vb.



<https://www.3dhubs.com>

# Foto-polimerizasyon

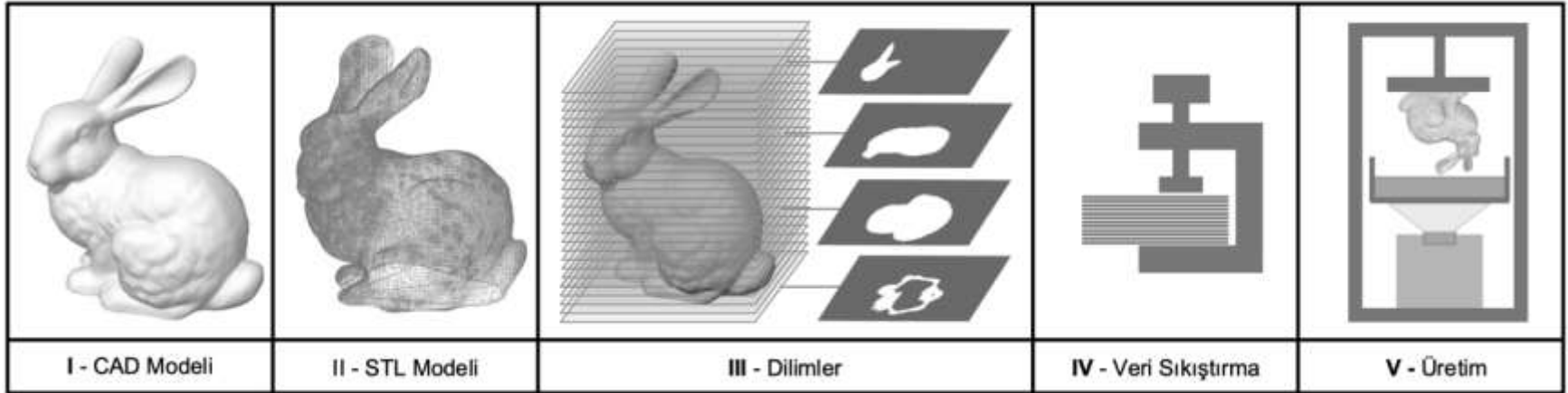
- Stereolitografi (SLA)
- Foto-polimer, reçine
- Çeşitli malzemeler
- Destek yapıları
- Lazer
- Yüksek doğruluk
- Yüksek yüzey kalitesi
- Tankta kalan reçine



<https://www.3dhubs.com>

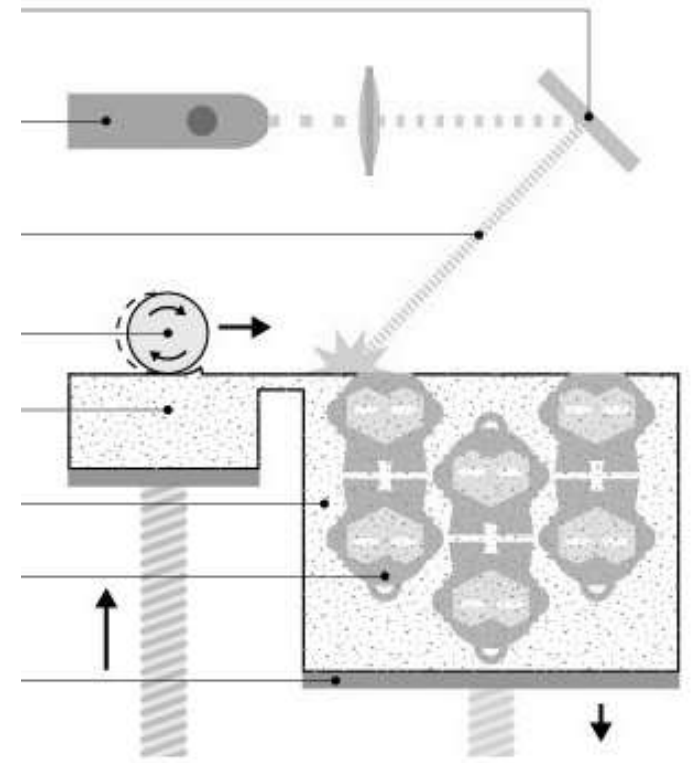
# Sayısal Işık İşleme (DLP)

- Foto-polimer, reçine
- SLA benzeri
- Tüm katmanın birden kürlenmesi



# Seçici Lazer Sinterleme (SLS)

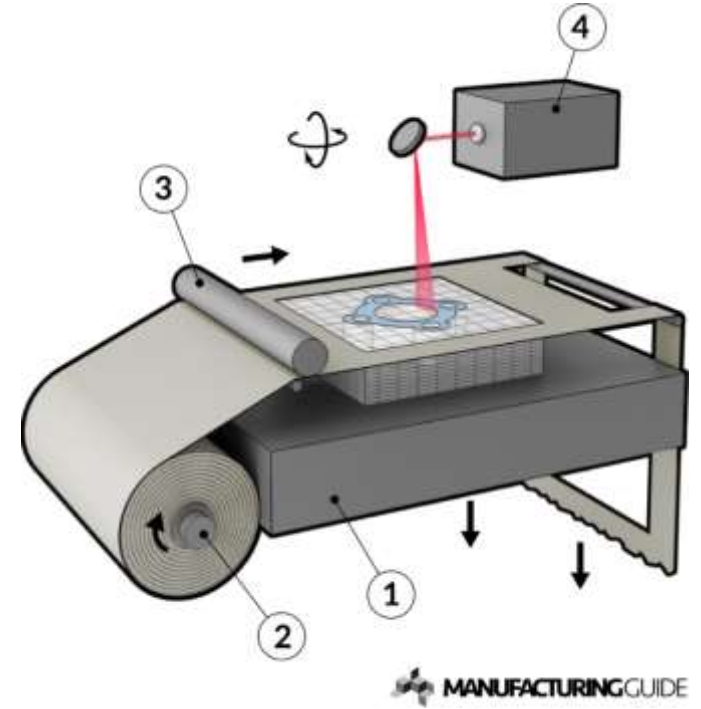
- Toz malzeme
- Toz serme
- Lazer
- Füzyon
- $0.5T_m < T < T_m$
- Özel destek yapısız
- 1:1:1



<https://www.3dhubs.com>

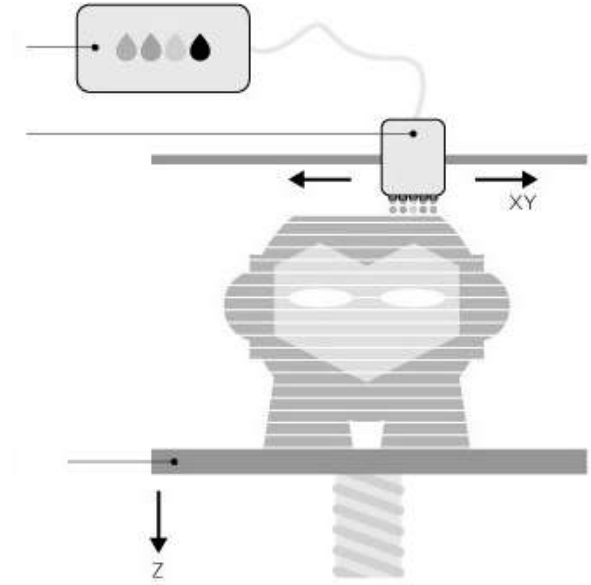
# Nesne Yapıştırma (LOM)

- Lazer
- Kesici
- Özel destek yapısız
- Yapıştırkanlar
- Çeşitli malzemeler
- Geri dönüştürülebilir



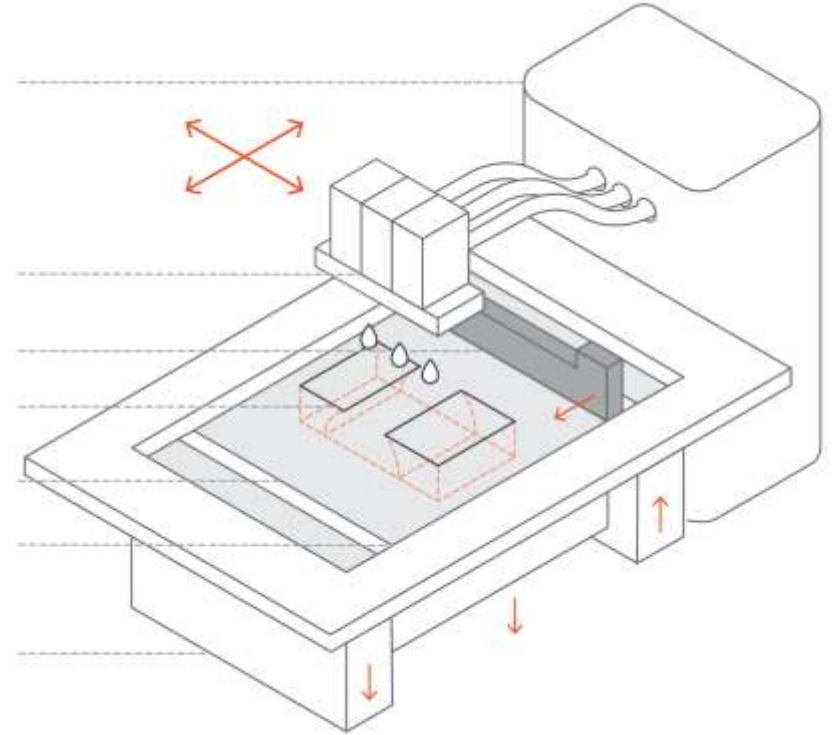
# Malzeme Püskürtme (MJ)

- Polyjet
- Multijet
- Foto-polimer, reçine
- Renkli parçalar
- Yüksek çözünürlük
- Çeşitli özelliklerde malzemeler



# Bağlayıcı Püskürtme (BJ)

- Renkli ürünler
- Büyük ve karmaşık geometriler
- Düşük mekanik özellikler
- Yüksek yüzey pürüzlülüğü
- Plastik, metal, seramik, kum, vb.

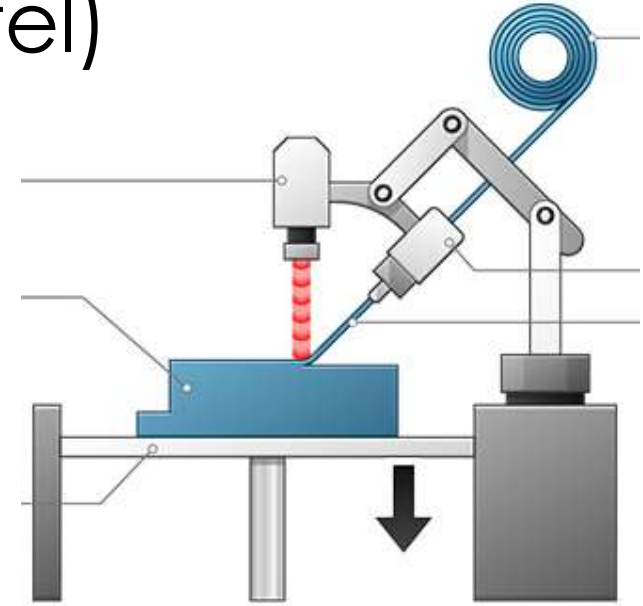


<https://www.3dhubs.com>



# Yönlendirilmiş Enerji Yığılma (DED)

- Dayanımı yüksek parçalar
- Farklı metaller (toz ya da tel)
- Büyük parçalar
- Tamir
- Yüzey kaplama
- Yüksek maliyet
- Yüksek yüzey pürüzlülüğü



<https://www.3dnatives.com>

# Çok Eksene Uygun Eklemeli İmalat Yöntemleri

- Eriyik Filament ile İmalat
- Yönlendirilmiş Enerji Yığılma
- Malzeme Püskürtme
- Tek Ark Eklemeli İmalat

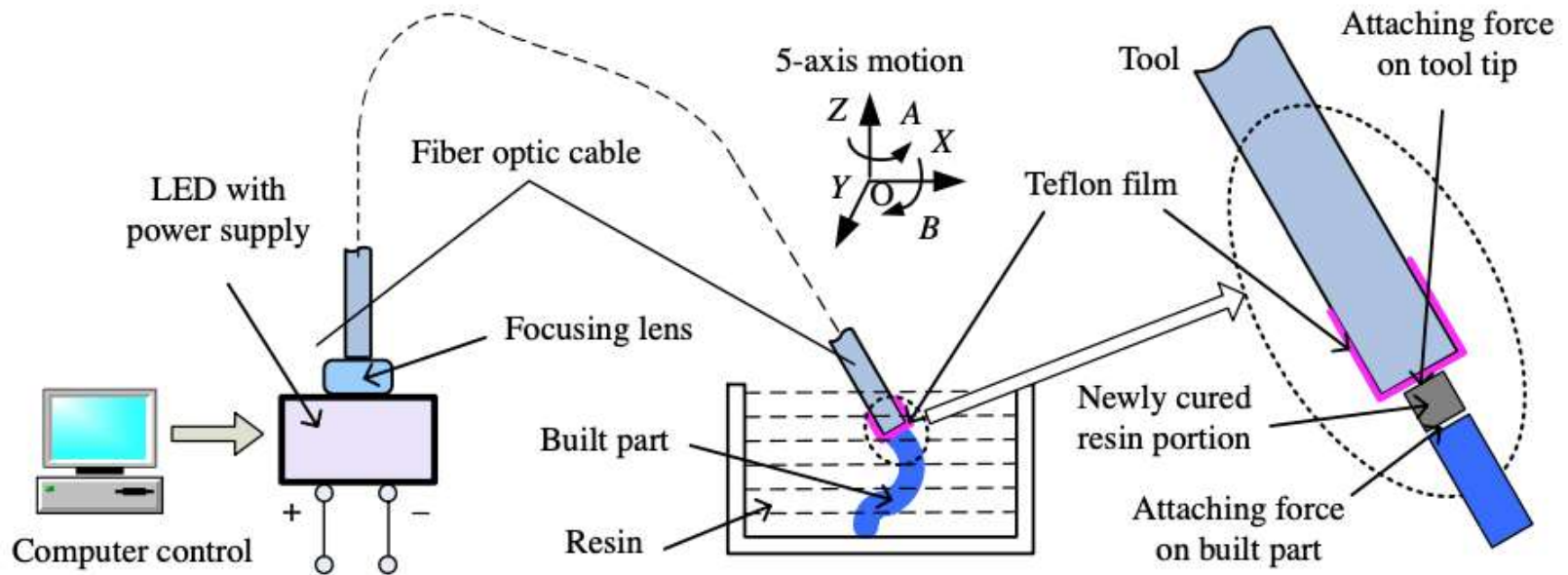


# Çok Eksenli Eklemeli İmalat Yöntemlerinin Avantajları

- Desteksiz ya da az destek ile imalat
  - Kısa süre
  - Düşük malzeme kullanımı
  - Düşük yüzey pürüzlülüğü (?)
- Karmaşık parçaların üretim kolaylığı
- Bağımsız kafaların kullanımı
- Geniş baskı alanı

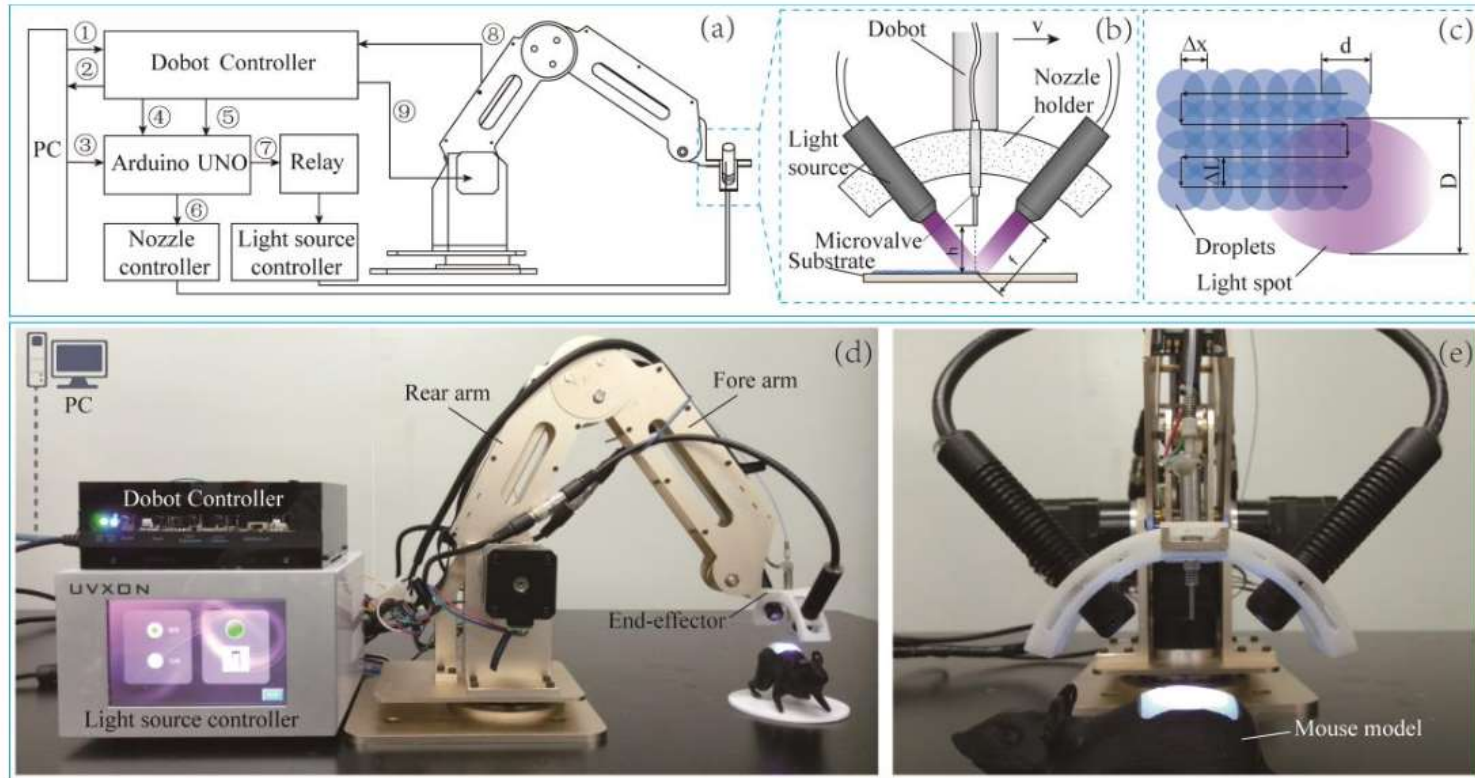


# Çok Eksenli Eklemeli İmalat Malzeme Püskürtme



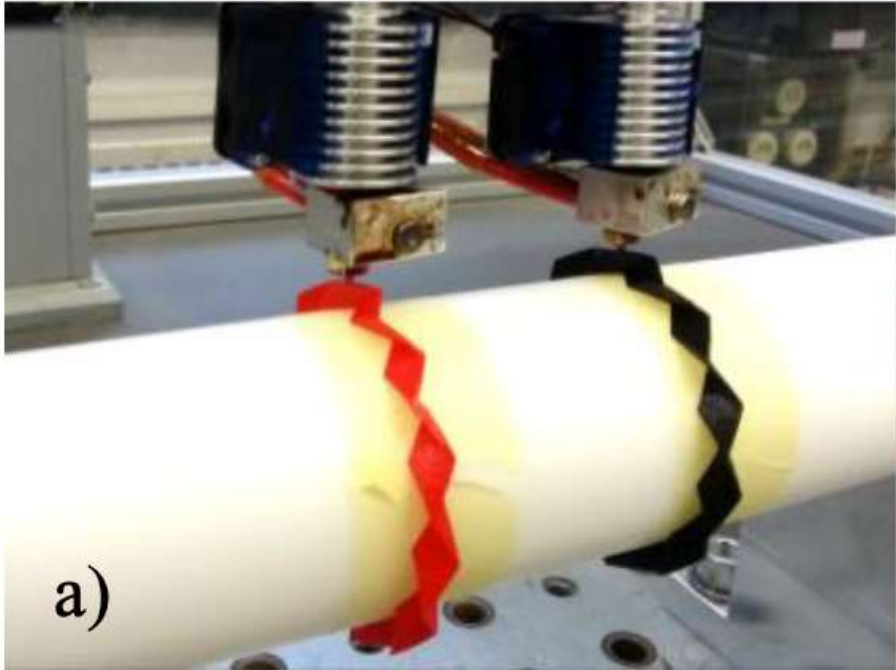
A layerless AM process based on CNC accumulation

# Çok Eksenli Eklemeli İmalat Malzeme Püskürtme



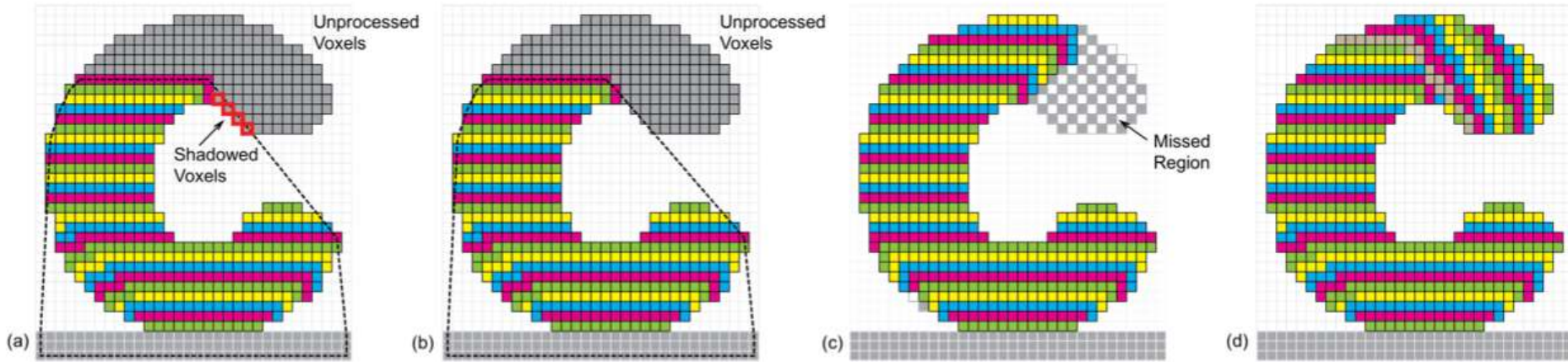
Development of a Robotic Arm Based Hydrogel Additive Manufacturing System for In-Situ Printing

# Çok Eksenli Eklemeli İmalat İçin Yazılım ve Algoritmalar



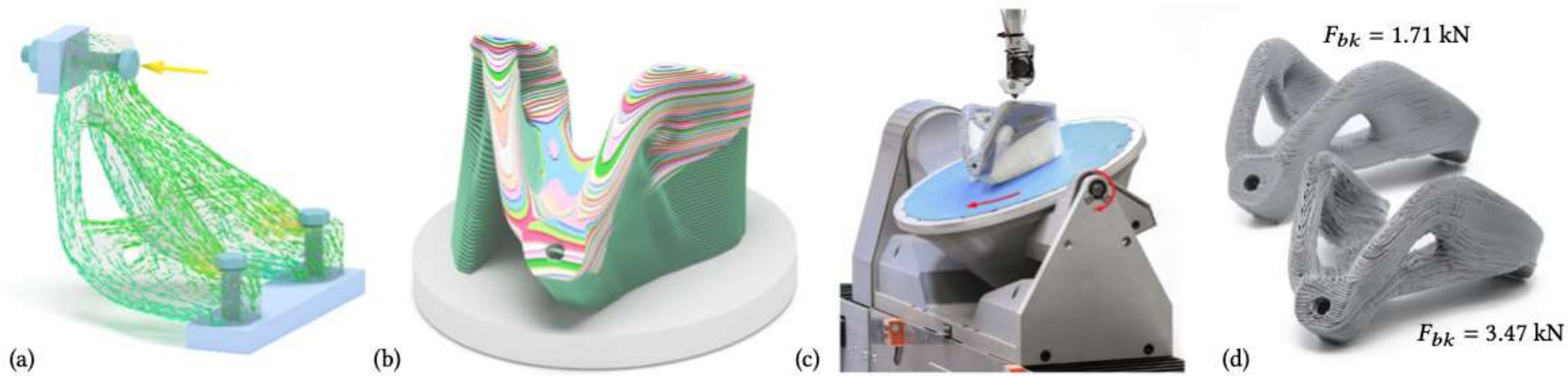
Reduction of support structures and building time by optimized path planning algorithms in multi-axis additive manufacturing

# Çok Eksenli Eklemeli İmalat İçin Yazılım ve Algoritmalar



Support-Free Volume Printing by Multi-Axis Motion

# Çok Eksenli Eklemeli İmalat İçin Yazılım ve Algoritmalar



Reinforced FDM: Multi-Axis Filament Alignment with Controlled Anisotropic Strength



# Beklenen Gelişmeler

- Birçok robot kolu ile imalat
- Gelişmiş açık kaynak dilimleme yazılımları
- Farklı eklemeli imalat yöntemlerinin robotlar ile uygulanması
- Büyük parçaların/yapıların imalatı/inşası



# Sonuçlar

- Eklemeli imalat
  - Çok eksenli kullanıma uygun yöntemler
    - FFF, MJ, DED, WAAM
- Çok eksenli sistemlerin avantajları
- Gerekli özel yazılımlar
- İlerleyen yıllarda yaygınlaşması beklenmekte





Teşekkürler!

[uyaman@metu.edu.tr](mailto:uyaman@metu.edu.tr)